

Leichtbau - Wozu und wie?

Zenner, Harald

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1997 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.35-41



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

HARALD ZENNER, Clausthal-Zellerfeld

Leichtbau – Wozu und wie?

Clausthal-Zellerfeld, 12. Juli 1997*

1. Leichtbau wozu?

Die Forderung nach Leichtbau läßt sich vor allem im Fahrzeugbau historisch weit zurückverfolgen. So ist die Funktion Fliegen bei einem Flugzeug ohne Leichtbau nicht möglich. Heute gibt es jedoch eine ganze Reihe weiterer Gesichtspunkte, die für die Entwicklung leichter Konstruktionen sprechen und die diesen Prozeß auch beschleunigen werden:

- Wenn das Gesamtgewicht eines Fahrzeugs begrenzt ist, z.B. bei Nutzfahrzeugen durch gesetzliche Vorschriften, so kann die Nutzlast erhöht werden, wenn es gelingt, das Fahrzeugleergewicht zu reduzieren. Damit ist ein wirtschaftlicherer Transport möglich.
- Das Beschleunigen und Abbremsen von Massen, z.B. bei Automobilen im Stadtverkehr, bedeutet Energiewandlung und Verschleiß. Durch eine Reduzierung der Massen können der Verbrauch von Treibstoff und damit die Betriebskosten gesenkt werden.
- Eine Massereduzierung bedeutet gleichzeitig Einsparung von Werkstoff und Schonung von Ressourcen.

Weiterhin kann die Reduzierung von bewegten Massen die Funktion verbessern und die Bauteilbelastung reduzieren (z.B. Verbesserung des Führungsverhaltens bei geregelten Antrieben und Reduzierung der Massenkräfte bei Kolben von Verbrennungsmotoren). Leichtbau an einer Stelle eines Systems kann einen positiven Schneeballeffekt für den Leichtbau des Gesamtsystems bewirken.

2. Leichtbau wie?

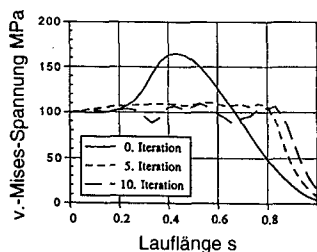
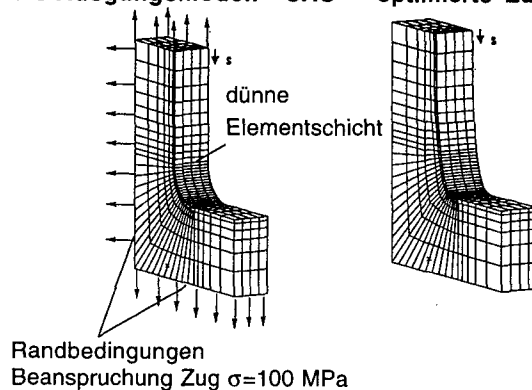
Um Leichtbau zu erreichen, gibt es zahlreiche Maßnahmen, die sich zum Teil noch im Entwicklungsstadium befinden.

- Das Weglassen von überflüssigem Ballast mag trivial klingen. Betrachtet man jedoch ausgeführte Konstruktionen, z.B. Schienenfahrzeuge, dann steckt darin durchaus ein erhebliches Leichtbaupotential.
- Wenn die Belastungen, die beim Betrieb einer Maschinenanlage entstehen, reduziert werden können (Reduzierung des Belastungskollektivs), dann können die Querschnitte der Bauteile und damit ihr Gewicht vermindert werden. Bei elektrischen An-

* Kurzfassung eines Vortrags vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

- trieben z.B. von Mühlen und Shreddern kann gezeigt werden, daß durch neue Regelkonzepte eine deutliche Reduzierung der Belastungen möglich ist [1].
- Eine wesentliche Gewichtsreduzierung ist konstruktiv möglich. Dies beginnt mit spezifischen Leichtbauweisen, wie z.B. einer Wabenkonstruktion, und geht bis zur geometrischen Gestaltung einzelner Bauteile. Alle Bauteile besitzen „Kerben“, die bei Betriebsbelastung örtlich zu Spannungskonzentrationen führen. Vor allem bei schwingenden Belastungen führen Spannungskonzentrationen zu einem Festigkeitsabfall. Durch eine Gestaltoptimierung kann in vielen Fällen die Spannungskonzentration gering gehalten werden. Auf der Basis von FEM-Rechnungen können, wie dies Bild 1 ausweist, Optimierungsstrategien erfolgreich, d.h. gewichtsreduzierend eingesetzt werden [2].
 - Ein wesentliches Potential für Leichtbau steckt in der Auslegungsphilosophie zur Bemessung von Bauteilen. Die sogenannte betriebsfeste Bemessung wurde von Ernst Gassner 1938 im Flugzeugbau eingeführt [3, 4, 5, 6]. Die Idee dieser Bemessung ist, Fahrzeuge, Flugzeuge, Maschinenanlagen usw. nur für eine begrenzte Nutzungsdauer auszulegen, z.B. Automobile für 500.000 km bei einer spezifischen Belastung, Ver-

FE-Ausgangsmodell CAO – optimierte Zuglasche



Spannungsverlauf der Zuglasche 3D entlang der Kontur s

Bild 1:

Gestaltoptimierung einer Konstruktion durch Computer Aided Optimization
CAO-Nachbildung biologischen Wachstums

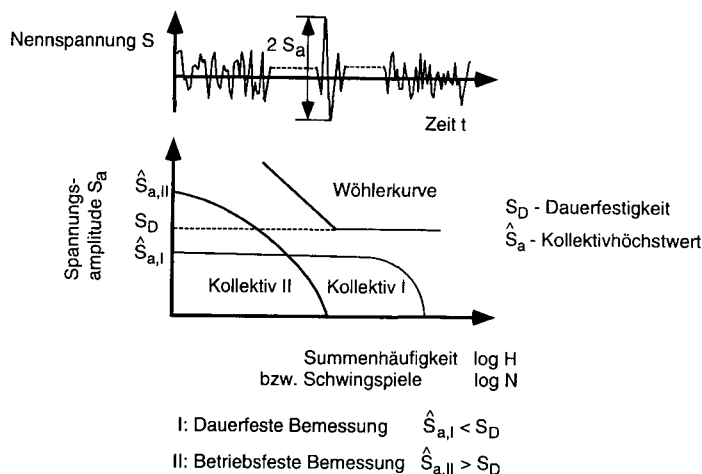


Bild 2:

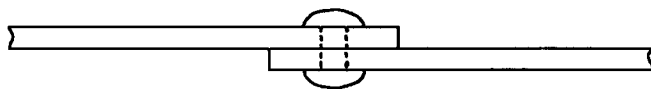
*Dauerfeste und betriebsfeste Bemessung von Bauteilen
Beanspruchung gegeben durch Beanspruchungszeitfunktion bzw. Kollektive
Beanspruchbarkeit gegeben durch Wöhlerlinie (Einstufenbeanspruchung)*

kehrsflugzeuge für 90.000 Flüge und Kraftwerke für 30 Jahre. Sichergestellt werden muß, daß während dieser Nutzungsdauer kein sicherheitsrelevantes Bauteil ausfällt. Bild 2 zeigt eine typische Beanspruchungszeitfunktion, die durch Klassierung in ein Belastungskollektiv (Häufigkeitsverteilung von Amplituden) transformiert worden ist. Bei der dauerfesten Bemessung (z.B. für Pleuel, Kurbelwellen) müssen alle Beanspruchungsamplituden unter der Dauerfestigkeit im Wöhlerdiagramm liegen, bei der betriebsfesten Bemessung, die inzwischen für die meisten schwingend beanspruchten Bauteile und Strukturen angewendet wird (Straßen- und Schienenfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge), werden dagegen Amplituden oberhalb der Dauerfestigkeit zugelassen, womit eine erhebliche Gewichtsersparnis möglich ist. – Die Reduzierung von Sicherheitsbeiwerten kann ebenfalls zur Gewichtseinsparung führen, womit nicht einem erhöhten Risiko das Wort geredet werden soll. Durch eine bessere Kenntnis der Betriebsbelastungen sowie des Festigkeitsverhaltens der Bauteile kann eine ausreichende Sicherheit und Verfügbarkeit ohne überhöhte Sicherheitsbeiwerte, wie sie teilweise angewendet werden, erreicht werden.

Auch die Fertigungstechnik, kann wesentlich zum Leichtbau beitragen, wie dies in Bild 3 für Fügungen gezeigt wird. Die Stumpfnah bedeutet geringstes Gewicht bei nur wenig gestörtem Kraftfluß, d.h. niedriger Spannungskonzentration.

Besondere Bedeutung für schwingend beanspruchte Bauteile besitzt die mechanische, thermische oder chemisch-thermische Randschichtbehandlung. Bei z.B. Kugelstrahlen, Festwalzen, induktivem Härten, Einsatzhärten oder Nitrieren werden die Rand-

Nietverbindung



Widerstandspunktschweißen



Laserstumpfnah



keine Blechdoppelung

Bild 3:
Gewichtseinsparung am Beispiel der Fügung von Blechen

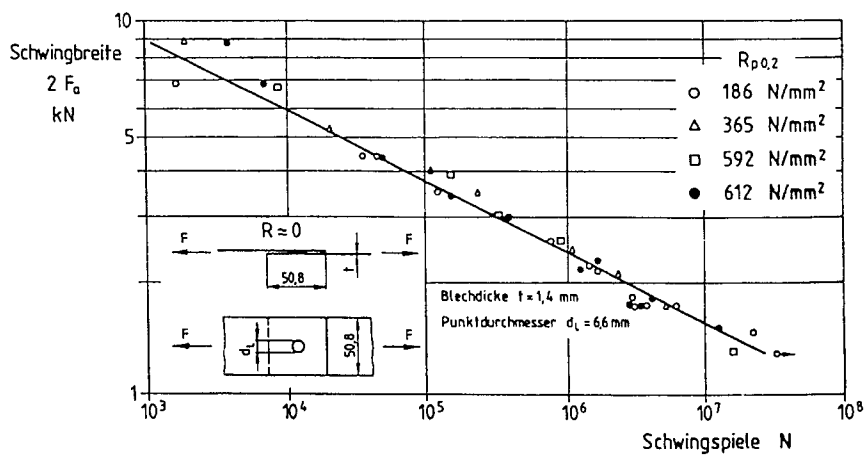


Bild 4:
Wöhlerkurven für Punktschweißverbindungen von Stählen unterschiedlicher Festigkeit,
 $R_{p0.2} - 0,2$ -Dehngrenze

schichteigenschaften verbessert (Gefüge, Härte, Druckeigenspannungen, teilweise Glättung der Oberfläche), so daß höhere Belastungen ertragen werden können.

- Ein wesentliches Leistungspotential liegt beim Werkstoff. Die Verwendung höherfester Werkstoffe kann bei statisch belasteten Konstruktionen zu einer Gewichtersparnis führen. Bei schwingender Beanspruchung zeigt sich jedoch, daß bei Vorliegen von scharfen Kerben wie bei einer Punktschweißverbindung die ertragbare Amplitude praktisch unabhängig ist von der Festigkeit des Materials [7], Bild 4.

Dagegen kann eine hohe Gewichtseinsparung durch Verwendung von Werkstoffen niedriger Dichte erreicht werden, so mit faserverstärkten Werkstoffen, Werkstoffverbunden und z.B. Schäumen. Aus Kosten-, Recycling- und auch technischen Gründen (Schädigungsprozeß) sind dem Einsatz z.B. faserverstärkter Werkstoffe (GFK, CFK) bisher Grenzen gesetzt.

Bei metallischen Werkstoffen findet gegenwärtig eine starke Orientierung in Richtung Aluminium- und Magnesium-Legierungen statt, Bild 5, wobei insbesondere für Mg-Legierungen noch ein hoher Forschungsbedarf besteht. Tafel 1 zeigt einen Eigenschaftsvergleich für Stähle, Titan-, Aluminium- und Magnesium-Legierungen. Mit abnehmender Dichte ist auch eine Abnahme des Elastizitätsmoduls verbunden, d.h. daß die Steifigkeit einer Konstruktion aus z.B. einer Al-Legierung bei gleichen Abmessungen geringer ist als bei der aus Stahl. Auch in anderen Eigenschaften, z.B. bei der Wärmeausdehnung unterscheiden sich die Werkstoffe erheblich. Das heißt, daß eine Werkstoffsubstitution in der Regel nicht ohne konstruktive Änderungen mög-

Werkstoffvergleich								
Werkstoff	R_m MPa	$R_{p0,2}$ MPa	A %	E GPa	ρ g/cm ³	R_m/ρ MPa cm ³ /g	E/p GPa cm ³ /g	α (20-100°C) 10 ⁻⁶ /K
Fe-Legierungen								
St37	360	235	26	210	7,8	46	30	11
34 Cr Mo 4 V	1000	800	12	210	7,8	128	30	12
X10 Cr Ni Ti 18 9	500	210	35	210	7,8	64	30	17
Ti-Legierungen								
Ti 6 Al 4 V	890	820	10	105	4,5	198	23	9
Al-Legierungen								
Al Mg Si ka	240	120	28	70	2,7	89	26	23
Al Mg 3 w	210	100	28	70	2,6	81	27	24
G-Al Si 12 wa	350	260	4	76	2,7	130	28	21
Mg-Legierungen								
AZ 91 HP	240	160	3	45	1,8	133	25	26

Tabelle 1:
Werkstoffvergleich zwischen Stahl-, Titan-, Aluminium- und
Magnesium-Legierungen

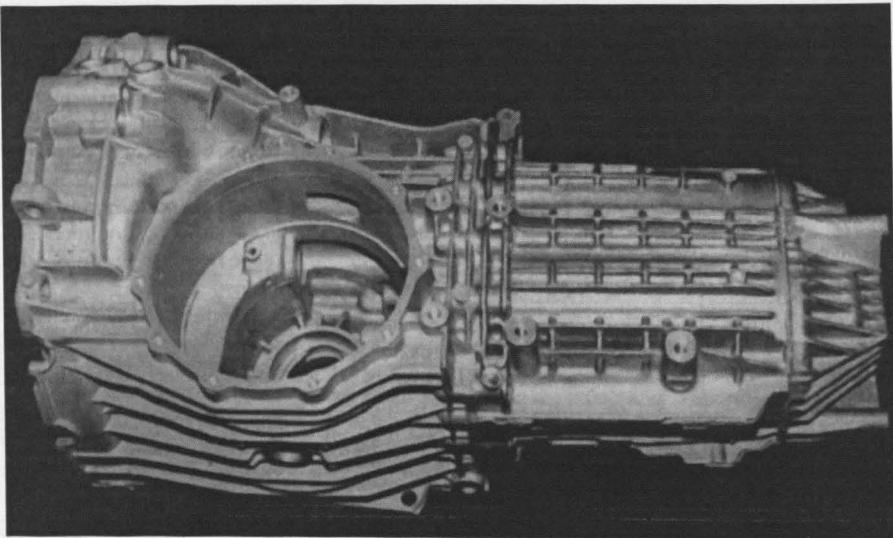
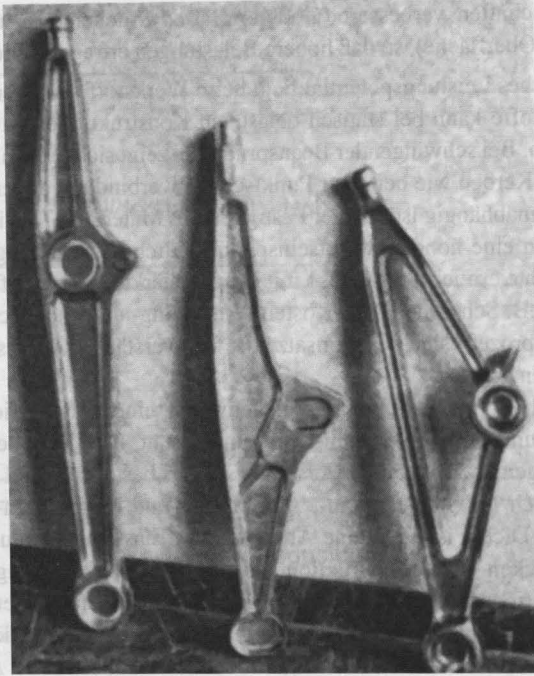


Bild 5:

Träger eines Flugzeugtriebwerkes aus Magnesium, 1938 (oben),
Pkw-Getriebegehäuse (VW-Passat) aus Magnesium, 1996 (unten)

lich ist und sich der Gewichtsvorteil, wie er sich aus den Dichteverhältnissen ergeben würde, nicht voll zum Tragen kommt.

3. Ausblick

Der Leichtbau von Konstruktionen besitzt aus funktionellen, ökonomischen und ökologischen Gründen einen hohen Stellenwert im Fahrzeug-, aber auch im Maschinenbau. Zahlreiche und sehr unterschiedliche Vorgehensweisen, die sich teilweise noch im Stadium der Entwicklung befinden, eröffnen ein umfangreiches Potential hierfür.

Literatur

- [1] Sourkounis, C., H.-P. Beck, H. Zenner und F. Peter, Drehzahlelastische Antriebe zur Lastminimierung bei Shredderantrieben. VDI-Berichte, Nr. 1285, 1996, S. 51–66.
- [2] Mattheck, C., Engineering Components Growing Like Trees. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik Nr. 21, 1990.
- [3] Gassner, E., Festigkeitsversuche mit wiederholter Beanspruchung im Flugzeugbau. Deutsche Luftwacht, Aufgabe Luftwissen 6 (1936), Nr. 2, S. 61–64.
- [4] Buxbaum, O., Betriebsfestigkeit – Sichere und wirtschaftliche Bemessung schwingbruchgefährdeter Bauteile. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1992.
- [5] Haibach, E., Betriebsfestigkeit – Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989.
- [6] Gudehus, H. und H. Zenner, Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1995.
- [7] Davidson, J. A. and E. J. Imhof jr., The Effect of Tensile Strength on the Fatigue Life of Spot-Welded Sheet Steels. Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE) 840110 (1984).

Prof. Dr.-Ing. H. Zenner
 Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
 TU Clausthal
 Leibnizstraße 32 · 38678 Clausthal-Zellerfeld